

Dual energy CT imaging for preclinical and clinical radiotherapy

Citation for published version (APA):

Schyns, L. E. J. R. (2019). *Dual energy CT imaging for preclinical and clinical radiotherapy*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. ProefschriftMaken Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20191009ls>

Document status and date:

Published: 01/01/2019

DOI:

[10.26481/dis.20191009ls](https://doi.org/10.26481/dis.20191009ls)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary



In this thesis, the use of preclinical and clinical dual energy CT imaging is investigated in the context of tissue segmentation for radiation dose calculations in the field of radiotherapy. The aim of radiotherapy is to kill tumor cells using ionizing radiation. During the radiotherapy treatment, a large amount of energy is deposited in the tumor. This causes DNA strands in the tumor cells to break and destroys the cells' ability to divide and grow, which effectively kills the tumor. The energy deposition for certain kinds of radiation beams depends strongly on the atomic number Z of the elements in the tissue and therefore the elemental tissue compositions need to be taken into account when performing radiation dose calculations. Currently, the elemental tissue compositions in these dose calculations are taken from the reference data for human tissue compositions and mass densities, listed in several reports by the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) and the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Instead of relying on the reference data, it would be preferable to extract information about the elemental composition of the tissues from CT images of the patient which are used in the treatment planning process. This information, in contrast to density information, cannot be obtained from conventional single energy CT (SECT) images. A new technique is required. When combining two CT images that are acquired with different x-ray spectra, it is possible to extract additional information from these images. This technique is called dual energy CT (DECT).

Chapter 1 is the introduction of this thesis, in which the importance of tissue segmentation and the role of DECT in the tissue segmentation process are discussed.

Chapters 2, 3, 4 and 5 focus on preclinical DECT imaging. The feasibility of quantitative DECT imaging for preclinical irradiators with an integrated cone beam CT (CBCT) system is described in chapter 2. To obtain the best results, optimizing the imaging protocols is required. Well-separated x-ray spectra and a sufficient dose level should be used to minimize errors and noise.

The effect of different image reconstruction techniques on quantitative DECT imaging is analyzed in chapter 3. Phantom images are reconstructed with different image reconstruction techniques and a quantitative DECT analysis is performed on these images to determine if there is any benefit in choosing an iterative reconstruction technique instead of the conventional backprojection reconstruction technique. In this chapter, it is concluded that iterative image reconstruction can be beneficial, but the benefit is small and calculation times may be unacceptable with current technology.

The implications of using human tissue compositions for radiation dose calculations in mice are investigated in chapter 4. In this study, the previously introduced DECT technique is used to extract tissue data from mice and these data are compared to the ICRU and ICRP reference data. Overall, a good agreement between the (extracted) murine data and the (reference) human data is found and therefore the ICRU and ICRP reference data can be used for radiation dose calculations in mice. However, a large spread in tissue compositions and tissue densities is found that cannot be taken into account when using the ICRU and ICRP reference data.

The feasibility of using preclinical DECT images for tissue segmentation and its potential dose calculation accuracy gain are considered in chapter 5. Both SECT and DECT tissue segmentation techniques are performed on CT images of a phantom and an ex vivo mouse. In this chapter, it is concluded that DECT tissue segmentation is superior to SECT tissue segmentation and that this results in a higher radiation dose calculation accuracy.

Moving from the preclinical environment to the clinical environment, chapters 6 and 7 focus on clinical DECT imaging. A novel twin-beam DECT scanner is assessed in chapter 6. At the time, this scanner was being considered for purchase by the clinic. Since quantitative DECT data was not yet available for this scanner, measurements were performed using a prototype in the Siemens factory in Forchheim, Germany. A phantom study compares extracted values between the twin-beam DECT scanner and two dual-source DECT scanners. The dual-source DECT scanners are found to be superior to the twin-beam DECT scanner, mainly due to a better spectral separation.

The well-established ICRU and ICRP reference data for elemental tissue compositions and tissue densities are reevaluated in chapter 7. The first DECT images that were acquired using the clinic's new dual-spiral DECT scanner are used to extract tissue data from cancer patients and these data are compared to the ICRU and ICRP reference data. Overall, a good agreement is found, but more importantly, also a large spread in tissue compositions and tissue densities. It is imperative that this spread is taken into account in radiation dose calculations. DECT is an important first step to investigate this spread and to account for differences in tissue composition between individuals and within organs.

Chapter 8 contains a general discussion of the previous chapters and sheds light on a number of future perspectives regarding the improvement of tissue segmentation.



Samenvatting



In deze thesis wordt het gebruik van preklinische en klinische dual energy CT beeldvorming onderzocht in de context van weefselsegmentatie voor stalingsdosisberekeningen in de radiotherapie. Het doel van radiotherapie is het uitschakelen van tumorcellen met behulp van ioniserende straling. Tijdens de radiotherapiebehandeling wordt een grote hoeveelheid energie in de tumor achtergelaten. Dit zorgt ervoor dat DNA strengen in de tumorcellen breken en dat deze cellen de mogelijkheid verliezen om te delen en te groeien, hetgeen de tumor op een effectieve manier uitschakelt. De energieafgifte voor bepaalde soorten stralingsbundels hangt sterk van het atoomgetal Z van de elementen in het weefsel en daarom dient rekening te worden gehouden met de elementaire weefselsamenstelling bij het uitvoeren van stralingsdosisberekeningen. Op dit moment worden de elementaire weefselsamenstellingen in deze dosisberekeningen overgenomen van de referentiedata voor weefselsamenstellingen en weefseldichtheden die staan genoteerd in verschillende rapporten van de International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) en de International Commission on Radiological Protection (ICRP). In plaats van te vertrouwen op de referentiedata, zou het de voorkeur hebben om informatie over de elementaire weefselsamenstellingen te verkrijgen uit CT beelden van de patient die worden gebruikt bij het maken van het bestralingsplan. Deze informatie, in tegenstelling tot informatie over de dichtheid, kan niet worden verkregen uit conventionele single energy CT (SECT) beelden. Dit vereist een nieuwe techniek. Wanneer twee CT beelden die met verschillende Röntgenspectra zijn verkregen worden gecombineerd, is het mogelijk om meer informatie uit deze beelden te halen. Deze techniek wordt dual energy CT (DECT) genoemd.

Hoofdstuk 1 is de inleiding van deze thesis, waarin het belang van weefselsegmentatie en de rol van DECT in het weefselsegmentatieproces wordt besproken.

Hoofdstukken 2, 3, 4 en 5 concentreren zich op preklinische DECT beeldvorming. De haalbaarheid van kwantitatieve DECT beeldvorming voor preklinische bestralers met een geïntegreerd cone beam CT (CBCT) systeem wordt beschreven in hoofdstuk 2. Om de beste resultaten te verkrijgen is optimalisatie van de beeldvormingsprotocollen vereist. Een goede scheiding van de Röntgenspectra en een voldoende beeldvormingsdosis dienen te worden gebruikt om fouten en ruis te minimaliseren.

Het effect van verschillende beeldreconstructietechnieken op kwantitatieve DECT beeldvorming wordt geanalyseerd in hoofdstuk 3. Fantoombeelden worden gereconstrueerd met verschillende beeldreconstructietechnieken en een

kwantitatieve DECT analyse wordt uitgevoerd op deze beelden om te bepalen of er een voordeel is in het verkiezen van een iteratieve reconstructietechniek boven de conventionele gefilterde terugprojectie techniek. In dit hoofdstuk wordt geconcludeerd dat iteratieve beeldreconstructie voordelig kan zijn, maar het voordeel is klein en berekeningstijden kunnen mogelijk onacceptabel zijn met de huidige technologie.

De implicaties van het gebruik van humane weefselsamenstellingen voor stralingsdosiseberekeningen in muizen worden onderzocht in hoofdstuk 4. In deze studie wordt de eerder geïntroduceerde DECT techniek gebruikt om weefseldata te verkrijgen van muizen en deze data worden vergeleken met de ICRU en ICRP referentiedata. Over het algemeen wordt er een goede overeenkomst tussen de (verkregen) muizen data en de (referentie) humane data geconstateerd en daarom kunnen de ICRU en ICRP referentiedata worden gebruikt voor stralingsdosiseberekeningen in muizen. Echter, een grote spreiding in weefselsamenstellingen en weefseldichtheden wordt geconstateerd waar geen rekening mee kan worden gehouden wanneer de ICRU en ICRP referentiedata worden gebruikt.

De haalbaarheid van het gebruik van preklinische DECT beelden voor weefselsegmentatie en de mogelijke verbetering van de nauwkeurigheid van stralingsdosiseberekeningen worden overwogen in hoofdstuk 5. Zowel SECT als DECT weefselsegmentatietechnieken worden uitgevoerd op CT beelden van een fantoom en een ex vivo muis. In dit hoofdstuk wordt geconcludeerd dat DECT weefselsegmentatie beter is dan SECT weefselsegmentatie en dat dit resulteert in een grotere nauwkeurigheid van stralingsdosiseberekeningen.

Van de preklinische omgeving wordt overgegaan naar de klinische omgeving; hoofdstukken 6 en 7 concentreren zich op klinische DECT beeldvorming. Een nieuwe twin-beam DECT scanner wordt beoordeeld in hoofdstuk 6. Destijds overwoog de kliniek om deze scanner te kopen. Aangezien kwantitatieve DECT data nog niet beschikbaar waren voor deze scanner, zijn metingen uitgevoerd met een prototype in de Siemens fabriek in Forchheim, Duitsland. Een fantoomstudie vergelijkt de verkregen waarden van de twin-beam DECT scanner met die van twee dual-source DECT scanners. Er wordt geconstateerd dat de dual-source DECT scanners beter zijn dan de twin-beam DECT scanner, voornamelijk vanwege een betere spectrale scheiding.

De gevestigde ICRU en ICRP referentiedata voor elementaire weefselsamenstellingen en weefseldichtheden worden gereëvalueerd in hoofdstuk 7. De eerste DECT

beelden die zijn verkregen met de klinieks nieuwe dual-spiral DECT scanner worden gebruikt om weefseldata te verkrijgen van kankerpatiënten en deze data worden vergeleken met de ICRU en ICRP referentiedata. Over het algemeen wordt er goede overeenkomst geconstateerd, maar van groter belang, ook een grote spreiding in weefselsamenstellingen en weefseldicheden. Het is noodzakelijk dat met deze spreiding rekening wordt gehouden in stralingsdosisberekeningen. DECT is een belangrijke eerste stap om deze spreiding te onderzoeken en om rekening te houden met verschillen in weefselsamenstellingen tussen individuen en binnen organen.

Hoofdstuk 8 bevat een algemene discussie van de voorafgaande hoofdstukken en werpt een blik op een aantal nieuwe mogelijkheden met betrekking tot de verbetering van weefselsegmentatie.